

Turun ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Mathias Ojanen

WI-FI-LÄMPÖMITTARIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2018 | 31 + 7 sivua

Ohjaaja: Eero Immonen

Mathias Ojanen

WI-FI-LÄMPÖMITTARIN SUUNNITTELU JA VALMISTUS

Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa mahdollisimman kustannustehokas langaton Wi-Fi-verkkoyhteyteen kytkeytyvä lämpömittari. Lisäksi langattoman lämpömittarin lähettämiä lämpötila-arvoja tulee pystyä seuraamaan etäältä muun muassa verkkoyhteyteen kytketyltä tietokoneelta, älypuhelimelta tai tablettilta.

Työssä käsitellään esineiden internetiä (englanniksi Internet of Things ja lyhyemmin IoT) ja siihen liittyviä sulautettuja järjestelmiä, langattoman Wi-Fi-lämpömittarin prototyypin ohjelmointia ja siinä käytettyjä sovelluksia, laitteen komponenttien valintoja sekä valmiin tuotteen lisätoimintoja ja työn aikana ilmenneitä ongelmakohtia.

Voidaan todeta, että työn toteutus onnistui, sillä pystyttiin suunnittelemaan ja valmistamaan kustannustehokkaasti halutuilla toiminnoilla toimiva langaton Wi-Fi-lämpömittari, jonka lähettämiä lämpötila-arvoja pystyy seuraamaan missä tahansa, jossa on toimiva internet-yhteys.

ASIASANAT:

Esineiden internet, sulautettu järjestelmä, Arduino, lämpötilan mittaus, Wi-Fi, hallintapaneeli, tiedonkeruu, hälytys

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering

2018 | 31 + 7 pages

Instructor: Eero Immonen

Mathias Ojanen

DESIGN AND MANUFACTURING OF A WI-FI TEMPERATURE METER

The purpose of the thesis was to design and manufacture the most cost-effective wireless temperature meter possible. Also, it is necessary to be able to remotely monitor the temperature values sent by the wireless temperature meter, for example, from a computer, smartphone or tablet connected to the internet.

The thesis deals with the concept of Internet of Things including embedded systems, prototype programming and its applications, component choices for the Wi-Fi temperature meter, additional product features and problems faced during the process.

It can be said that the execution of the thesis was successful, as it was possible to design and manufacture a cost-effective wireless Wi-Fi temperature meter with the desired functionalities.

KEYWORDS:

Internet of Things, embedded system, Arduino, temperature measurement, Wi-Fi, dashboard, data logger, alert

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 ESINEIDEN INTERNET JA SULAUTETUT JÄRJESTELMÄT	7
2.1 Esineiden internet ja sulautetut järjestelmät kaikkialla	7
2.2 Arduino	9
3 PROTOTYYPIN VALMISTAMINEN	11
3.1 Ohjelmointi	12
3.1.1 Wi-Fi WebServer	13
3.1.2 Deep Sleep	14
3.2 Dweet.io	15
3.3 Freeboard.io	15
4 KOMPONENTTIEN VALINTA	17
4.1 Wi-Fi-mikrosiru	17
4.2 Virtalähde	18
4.3 Paristojen kontaktilevyt	20
4.4 Lämpötila-anturi	21
4.5 Piirilevy	21
4.6 Kotelo	23
4.6.1 Kotelon runko	24
4.6.2 Paristokotelo ja paristokotelon kansi	25
5 VALMIS TUOTE	27
5.1 Lisätoiminnot	27
5.1.1 Tiedonkeruu	27
5.1.2 Hälytystoiminnot	27
5.2 Ongelmakohdat	28
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	29
LÄHTEET	30

LIITTEET

- Liite 1. ESP-12F Virrankulutus lasku 1000 mAh nappiparistolla.
Liite 2. ESP-12F Virrankulutus lasku 4800 mAh 2xAA-paristoilla.
Liite 3. Arduino IDE – Prototyypin Wi-Fi WebServer & Deep Sleep-koodi.

KUVAT

Kuva 1. Arduino IDE - Esimerkki lämpötilan mittaus koodista.	10
Kuva 2. Langattoman Wi-Fi-lämpömittarin prototyypin kytkennät.	12
Kuva 3. Ensimmäiset lämpötila-arvot internetissä.	14
Kuva 4. Yksinkertainen esimerkki kirjoittajan omasta Freeboard-näkymästä.	16
Kuva 5. 3D-mallinnettu ESP-12F-mikrosiru kuvattuna ylhäältä ja alhaalta.	17
Kuva 6. Piirustukset kiinalaisen valmistajan tarjoamista AA-paristojen kontaktilevyistä.	20
Kuva 8. Autocad-ohjelmalla piirretty piirilevyn piirikaavio.	23
Kuva 9. 3D-mallinnettu langattoman lämpömittarin kokoonpantu kotelo kuvattuna ylä- ja alapuolelta.	24
Kuva 10. 3D-mallinnettu langattoman lämpömittarin kotelon runko.	25
Kuva 11. 3D-mallinnettu langattoman lämpömittarin paristokotelo ja paristokotelon kansi.	26

KUVIOT

Kuvio 1. Panasonic CR2477-nappipariston jännitteen laskeminen käytön aikana (Panasonic, 2006).	19
Kuvio 2. Saft LS14500 3,6V AA-pariston jännitteen laskeminen käytön aikana (Cell Pack Solutions, 2009).	19

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella ja valmistaa mahdollisimman kustannustehokas, langaton Wi-Fi-verkkoyhteyteen kytkeytyvä lämpömittari, jonka lähettämiä lämpötila-arvoja pystyy seuraamaan etäältä muun muassa verkkoyhteyteen kytkeyltä tietokoneelta, älypuhelimelta tai tabletilla. Työssä käsitellään myös valmiin tuotteen lisätoimintoja, kenelle tuote suunnattaisiin ja mitä hyötyä siitä olisi laitteen käyttäjälle.

Opinnäytetyö toteutetaan suunnittelemalla ensimmäinen prototyyppi, johon valitaan halutun kokoluokan, toimivuuden sekä kustannustehokkuuden kannalta parhaat komponentit. Suunnittelutyön pohjalta pystytään valmistamaan ensimmäinen yksinkertainen, mutta toimiva prototyyppi, jonka jälkeen tuotetta lähdetään kehittämään. Tuotteen kehitysprosessiin kuuluu muun muassa langattoman lämpömittarin kotelon 3D-mallintaminen ja -tulostaminen, piirilevyn suunnittelu sekä muiden lopullisten komponenttien valitseminen.

Työssä käsitellään ensin esineiden internetiä ja siihen liittyviä sulautettuja järjestelmiä, jonka jälkeen käydään läpi langattoman lämpömittarin prototyypin suunnittelu ja valmistus. Prototyypin valmistus käsittelee myös prototyypin ohjelmointivaiheen sekä siinä käytetyt sovellukset. Tämän jälkeen perehdytään syvemmin langattomassa lämpömittarissa käytettyihin komponentteihin ja niiden valintaan. Komponenttien valintaosion jälkeen siirrytään tarkastelemaan valmista tuotetta ja siinä olevia lisätoimintoja, jotka mahdollistavat käyttäjälle täyden hyödyn laitteen käytöstä. Lopuksi käydään läpi projektin aikana ilmenneitä ongelmakohtia, niiden ratkaisuja ja yleisiä projektista seuranneita johtopäätöksiä.

2 ESINEIDEN INTERNET JA SULAUTETUT JÄRJESTELMÄT

Esineiden internet on käsitteenä varsin laaja ja vaikea määrittää yksiselitteisesti, mutta lyhyesti esineiden internet muodostuu laitteista, jotka toimivat pienen tietokoneen avulla internetin välityksellä. Näitä laitteita kutsutaan myös sulautetuiksi järjestelmiksi (englanniksi embedded systems). Laite määritellään sulautetuksi järjestelmäksi silloin, kun se toimii pienen mikrokontrollerin avulla ja sillä on rajattu käyttötarkoitus (Karvinen 2010, 9). Ei voida kuitenkaan sanoa, että kaikki sulautetut järjestelmät kuuluvat esineiden internetiin, sillä kaikissa ei välttämättä ole internet-yhteyttä esimerkiksi autojen jarruissa. Tässä työssä käsiteltävä langaton Wi-Fi-lämpömittari on sulautettu järjestelmä ja se kuuluu esineiden internetiin, sillä se toimii internetissä Wi-Fi-mikrosirun avulla ja sillä on rajattu käyttötarkoitus.

2.1 Esineiden internet ja sulautetut järjestelmät kaikkialla

Esineiden internet on yleistynyt merkittävästi teollisuuden aloilla. Esineiden internetiin kuuluvia sulautettuja järjestelmiä voi nähdä teollisuudessa esimerkiksi mittaamassa moottorin käyttötunteja, lämpötiloja, paineita tai vaikkapa huollontarvetta. Näiden ansiosta laite esimerkiksi osaa itse ilmoittaa olevansa huollon tarpeessa, mikä avaa huoltopalveluiden tarjoajalle mahdollisuuden ottaa juuri oikeaan aikaan asiakkaaseen yhteyttä ja tarjota huoltoa. Lisäksi Tuominen (eCraft, 2015) uskoo, että esineiden internetiin kuuluvat sulautetut järjestelmät tuovat myös kilpailukykyä aasialaista halpatuotantoa vastaan, sillä kilpailukyky perustuu täysin muihin seikkoihin, kuin edullisiin työvoimakustannuksiin.

Esineiden internetiin kuuluvia sulautettuja järjestelmiä löytyy käytännössä kaikilta teollisuuden aloilta. Jopa lääketeollisuuden alalta löytyy suunnitteilla olevia älykkäitä lääkepakkauksia, jotka seuraavat milloin potilas on viimeksi ottanut lääkkeensä. Kyseinen lääkepakkaus olisi erittäin hyödyllinen kriittistä lääkitystä vaativien kotihoitopotilaiden lääkityksen seuraamiseen (Paperi ja puu, 2016).

Myös esimerkiksi logistiikan alalla on kehitteillä Stora Enson ja Microsoftin yhteistyöllä valmistuva älypakkaus.

Älypakkaus mahdollistaa muun muassa tuotteiden paikantamisen, pakkauksen koskemattomuuden todentamisen, lisätietojen tarjoamisen tuotteen ostajalle sekä kokonaisvaltaisen tiedonhallinnan ja analysoinnin (Stora Enso, 2017).

Esineiden internet näkyy nykyään myös tavallisten kuluttajien elämässä. Mökille on voitu asentaa kosteusanturi, joka ilmoittaa etäältä, mikäli katto alkaa vuotamaan vettä. Ulko-oven tai ikkunan viereen on voitu asentaa paineantureita, jotka ilmoittavat lomailevalle asukkaalle huoneen ilmanpaineen muutoksen perusteella, mikäli kotiin on murtauduttu. Postilaatikon luokkuun on voitu asentaa magneettianturi, joka ilmoittaa asukkaan älypuhelimeen postin saapumisesta. Kirjoittajan omien kokemusten perusteella kuluttajille on suunnattu lukuisia esineiden internetiin kuuluvia sulautettuja järjestelmiä, joiden tarkoitus on pääasiassa helpottaa kuluttajien elämää.

Kuluttajille on suunnattu myös esineiden internetin piiriin kuuluvia sulautettuja järjestelmiä, joiden pääasiallinen tarkoitus on säästää rahaa. Tämänlainen järjestelmä voi olla esimerkiksi asunnon kokonaissähkönkulutuksen mittaava laite, joka ilmoittaa käyttäjälle sähkönkulutuksen internetin välityksellä. Käyttäjä näkee internetistä suoraan, kuinka paljon rahaa on kulunut sähköön esimerkiksi pihavalojen pitämiseen päällä yön aikana. Tämänlainen järjestelmä auttaa käyttäjää karsimaan mahdollista turhaa sähkönkulutusta ja säästämään rahaa. Tässä opinnäytetyössä suunniteltu langaton Wi-Fi-lämpömittari on myös kaikille suunnattu sulautettu järjestelmä, jonka tarkoituksena on auttaa käyttäjää säästämään esimerkiksi asuntonsa lämmityskustannuksissa.

Military Embedded Systems -lehden (2018) mukaan Yhdysvaltojen uusimmissa asejärjestelmissä esimerkiksi pienissä ohjuksissa, ohjatuissa projektiileissa ja sotilaiden varusteissa on enemmän elektroniikka kuin koskaan aiemmin. Esineiden internetin piiriin kuuluvia sulautettuja järjestelmiä tälläkin kohderyhmällä on lukematon määrä. Lehden mukaan yksi uusimmista järjestelmistä on esimerkiksi sotilaan älypuhelimeen asennettava navigointisovellus, joka auttaa sotilasta laskeutumaan laskuvarjolla tarkasti haluttuun paikkaan. Amerikkalaisilla sotilailla on käytössään myös esimerkiksi tiedusteluun tarkoitettuja kauko-ohjattavia lennokkeja, miehittämättömiä kauko-ohjattavia tai jopa täysin automatisoituja miehittämättömiä hävittäjiä.

Esineiden internet kiinnostaa monia yksityisiä ihmisiä myös harrastuksen muodossa. Harrastelijoiden IoT-projektit vaihtelevat henkilöiden oman työpanostuksen ja kokemuksen mukaan erittäin haastavista erittäin helppoihin.

Kirjoittaja omien kokemusten perusteella haastavaksi Arduino-pohjaiseksi IoT-projektiksi voidaan luokitella esimerkiksi tavallisen henkilöauton muuttaminen kauko-ohjattavaksi, kun taas helpoksi Arduino-pohjaiseksi IoT-projektiksi voidaan luokitella esimerkiksi ledivalon vilkuttelu nappia painamalla. Esineiden internetin piiriin kuuluvien sulautettujen järjestelmien rakentaminen ei yleisesti ottaen ole myöskään kallista, sillä lähes kaikkia komponentteja voi tilata helposti esimerkiksi Kiinasta, missä on huomattavasti halvempi hintataso kuin länsimaissa. Nykyinen komponenttien helppo saatavuus ja halpa hinta mahdollistavat harrastuksen aloittamisen helposti.

Edellä mainittuihin kappaleisiin viitaten voidaan todeta, että esineiden internetin voi kohdata nykyään lähes kaikkialla.

2.2 Arduino

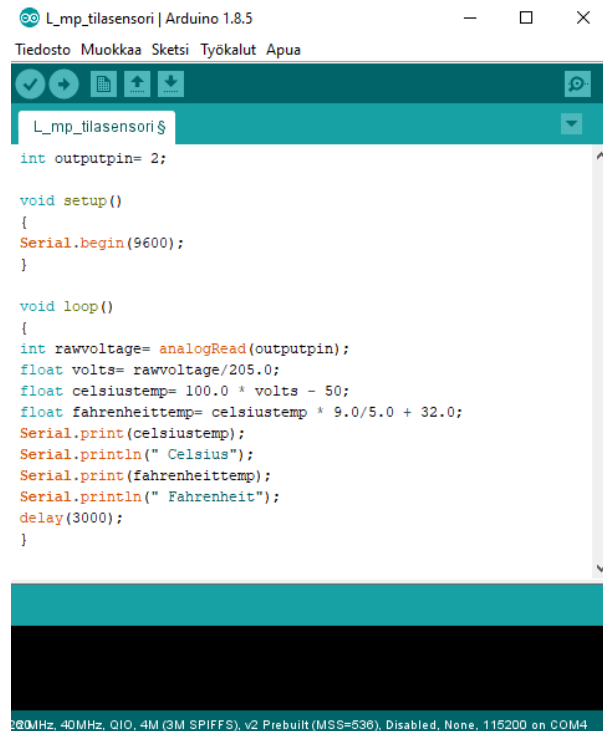
Tähän projektiin valittiin ohjelmistoksi Arduino (Arduino, 2018), sillä se on helppokäyttöinen avoin kehitysympäristö, jota oppii nopeasti käyttämään. Lisäksi Arduinon tarjoama ohjelmointisovellus Arduino IDE on ilmainen, ja oikeilla asetuksilla se tukee valtaosaa sulautettujen järjestelmien rakentamiseen tarvittavia komponentteja esimerkiksi tässä työssä käytettyä Wi-Fi-mikrosirua. Arduino IDE -editoriin kirjoitettava koodi on C++.

Kuvassa 1. on esitetty Arduino IDE -sovelluksen päänäkökulma, johon on kirjoitettu esimerkki lämpötilan mittauskoodista. Kohta "int outputpin= 2;" alustaa kokonaisluku tyyppisen globaalin muuttujan nimeltä outputpin ja asettaa sen arvoksi kaksi, jota käytetään Analogreadissä. Outputpin on Arduinon sisäinen vakio. Tällöin Analogread lukee arvoja mikrosirun pinnistä kaksi, joka tässä tapauksessa kertoo ohjelmoitavalle mikrosirulle, että tässä koodissa käytetään pinniä kaksi, jolloin mikrosiru osaa kommunikoida kyseisen pinnin kanssa. Pinnit ovat mikrosirussa sijaitsevia kohtia, joihin kiinnitetään muun muassa sensoreita tai johtoja. Pinneiksi kutsutaan myös komponenteissa sijaitsevia kontaktipiikkejä.

Aliohjelmaan "void setup ()" kirjoitut rivit ovat funktioita, jotka suoritetaan yhden kerran mikrosirun käynnistyessä. Setupissa voi olla myös useampi rivi käskyjä, mutta tässä tapauksessa sirulle on määrätty ainoastaan tiedonsiirtonopeus 9600 bittiä sekunnissa. Tiedonsiirtonopeudeksi määritetään yleensä 300–115200 bittiä sekunnissa kommunikoitaessa tietokoneen kanssa.

Aliohjelmaan "void loop ()" kirjoitetut rivit ovat funktioita, joita mikrosiru suorittaa teoriassa loputtomiin. Loopissa sijaitsevat rivit luovat nimensä mukaan silmukan, joka alkaa ensimmäisestä rivistä ja alkaa aina alusta uudelleen viimeisen rivin jälkeen.

Tässä esimerkissä (kuva 1) mikrosiru on määrätty mittaamaan lämpötila-arvoja Celsius- ja Fahrenheit-asteina ja odottamaan kolme sekuntia, jonka jälkeen suorittamaan lämpötilan mittauksen uudelleen. Kaikki Arduino IDE -komennot ja niiden määritelmät löytyvät osoitteesta <https://www.arduino.cc/reference/en/>.

The image is a screenshot of the Arduino IDE interface. At the top, the window title is "L_mp_tilasensori | Arduino 1.8.5". Below the title bar is a menu bar with "Tiedosto", "Muokkaa", "Sketsi", "Työkalut", and "Apua". Under "Muokkaa" are icons for undo, redo, and save. The main text area shows the following code:

```
int outputpin= 2;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  int rawvoltage= analogRead(outputpin);
  float volts= rawvoltage/205.0;
  float celsiustemp= 100.0 * volts - 50;
  float fahrenheittemp= celsiustemp * 9.0/5.0 + 32.0;
  Serial.print(celsiustemp);
  Serial.println(" Celsius");
  Serial.print(fahrenheittemp);
  Serial.println(" Fahrenheit");
  delay(3000);
}
```

At the bottom of the IDE, there is a status bar with the text: "16MHz, 40MHz, QIO, 4M (3M SPIFFS), v2 Prebuilt (MSS=536), Disabled, None, 115200 on COM4".

Kuva 1. Arduino IDE - Esimerkki lämpötilan mittaus koodista.

3 PROTOTYYPIN VALMISTAMINEN

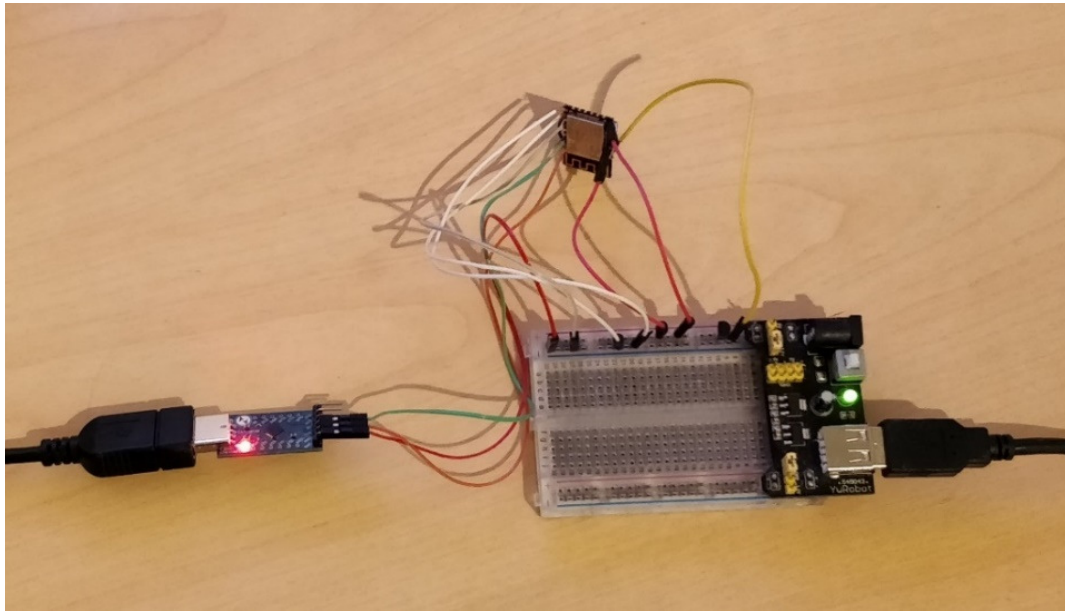
Prototyypin valmistamisen ensimmäisessä vaiheessa tehtiin laajamittainen suunnittelutyö, jossa määriteltiin muun muassa laitteelta haluttuja ominaisuuksia ja kohderyhmä mahdolliselle tuotteelle. Laitteelta haluttuja ominaisuuksia olivat muun muassa mahdollisimman pieni koko sekä mahdollisimman yksinkertainen, mutta silti luotettavasti toimiva laite. Mahdollisen tuotteen kohderyhmäksi soveltuisi käytännössä mikä tahansa Wi-Fi-verkkoyhteyden omaava taho niin kuluttajat kuin yrityksetkin.

Suunnittelutyön perusteella valittiin halutun kokoluokan, toimivuuden sekä kustannustehokkuuden kannalta parhaat komponentit. Komponenttien valitsemisen jälkeen suunnittelutyössä määriteltiin realistinen tavoite langattoman lämpömittarin pienelle koolle, joka oli tässä vaiheessa noin kahden euron kolikon koko (halkaisija 25millimetriä). Tämän jälkeen perehdyttiin valittujen komponenttien kytkentöihin.

Kattavan suunnittelutyön pohjalta voitiin aloittaa ensimmäisen prototyypin valmistaminen. Internetistä tilattiin prototyypin pääkomponentit: lämpötila-anturi TMP36, mikrosiru ESP8266-12F sekä virtalähde. Prototyypissä virtalähteenä käytettiin langallista kytkentäpöytään kiinnitettävää 3,3 voltin virtalähdettä. Prototyypin valmistamiseen tarvittiin lisäksi pieni kytkentäpöytä, johon koekytkennät olisi helppo suorittaa, hyppylankoja, joilla koekytkennät suoritettaisiin, USB-UART -sarjaportti tiedonsiirtoon sekä kaksi USB-johtoa, joista toinen tiedonsiirtoon ja toinen virtalähteen virtajohdoksi. Komponenttien saavuttua suoritettiin tarvittavat kytkennät.

Seuraavaksi tarkastellaan kytkentöjä (kuva 2) oikealta vasemmalle. Kuvaa tarkasti katsomalla nähdään, että TMP36-lämpötila-anturin negatiivinen- (englanniksi ground tai GND eli maa) ja positiivinen- (englanniksi käytetään lyhennettä VCC) pinni on kiinnitetty suoraan kytkentäpöytään virtalähteen vasemmalle puolelle. Anturin keskimäinen pinni on kytketty keltaisella hyppylangalla ESP-12F-mikrosirun ADC-pinniin. Seuraavaksi mikrosiruun on yhdistetty kaksi punaista positiivisesta jännitteestä lähtevää johtoa VCC- ja EN-pinneihin. Näiden johtojen kautta mikrosiru saa virtaa. Punaisten johtojen vieressä olevat maahan kytketyt kaksi valkoista ja yksi harmaa johto on yhdistetty mikrosirun GND-, GPIO15- ja GPIO0-pinneihin. Kyseisten GPIO-pinnien aktivoiminen mahdollistaa tarvittaessa Flash-toiminnon, mikä tarkoittaa alkuperäisten asetusten palauttamista. GPIO0 (harmaa johto) tulee olla kytkettynä vain Flashaamisen aikana.

Viimeinen kytkentäpöydässä oleva punainen johto on muista maahan kytketyistä johdoista eriävistä väristään huolimatta myöskin kytketty maahan ja kytkeytyy USB-UART-sarjaportin GND-pinniin. Lopuksi UARTista on viety oranssi johto RX-pinnistä mikrosirun TX-pinniin ja vihreä johto TX-pinnistä mikrosirun RX-pinniin. RX ja TX tulee englanninkielisistä sanoista 'receive' ja 'transmit' mikä tarkoittaa suomeksi vastaanottamista ja lähettämistä. Mikrosiru pystyy siis RX-pinnin kautta vastaanottamaan UARTin TX-pinnin kautta lähetettyä dataa.



Kuva 2. Langattoman Wi-Fi-lämpömittarin prototyypin kytkennät.

3.1 Ohjelmointi

Prototyypin valmistamisen seuraavassa vaiheessa mikrosiruun ohjelmoitiin koodi käyttäen Arduino IDE -kehitysympäristö. Prototyyppiä ohjelmoitaessa koodiin kirjattiin pelkästään yksinkertaiset käskyt mitata lämpötilaa. Ensimmäinen lämpötilan mittaukseen käytetty koodi on esillä kuvassa 1. Lämpötilan mittaus onnistui, joten seuraavaksi lämpötila-arvot haluttiin näkyviin selaimeen paikallisverkossa. Arduino IDE tarjoaa käyttäjilleen lukuisia valmiita pohjia erilaisiin käyttötarkoituksiin, joten niitä lähdettiin hyödyntämään. Liikkeelle lähdettiin perusasioista eli yksinkertaisen HTML-sivuston luomisella. Aluksi tähän käytettiin valmista HelloServer-pohjaa, jota tulee aina muokata omien tarpeiden mukaan.

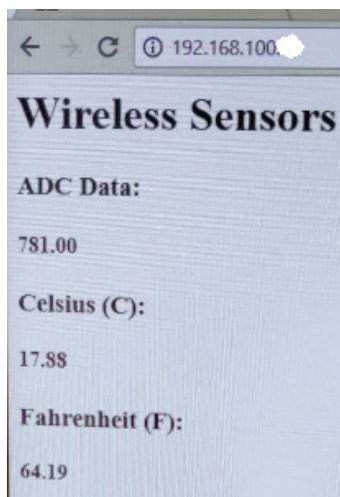
Koodiin tulee lisätä muun muassa sen Wi-Fi-reitittimen SSID (käyttäjätunnus) ja salasana johon mikrosiru halutaan yhdistää. Tässä projektissa käytetään kotoa löytyvää tavallista Elisan reititintä. HelloServeriä pääsee tarkastelemaan, kun kirjoittaa valitun reitittimen IP-osoitteen selaimeen. Sivuston luonti koodilla onnistui, joten voitiin siirtyä lämpötila-arvojen lähettämiseen.

3.1.1 Wi-Fi WebServer

Wi-Fi WebServer on myös Arduino IDE:n tarjoama valmis koodinpohja. Tähän pohjaan lisättiin käyttäjätunnuksen ja salasanan lisäksi myös lämpötila-arvojen mittaus-koodi sekä edellä mainittu HTML-sivusto, jolloin onnistuttiin lähettämään huoneen lämpötila-arvoja reaaliajassa internetiin.

Kuten jo edellä mainittu, ESP-12F-mikrosiru on kytketty hyppylangalla ADC-pinnistä lämpötila-anturin TMP36 keskimmäiseen pinniin. Lämpötila-anturissa kiertää sinne syötetty 3.3 voltin jännite, jonka avulla anturi lähettää tietyn väliajoin ADC arvoja mikrosirulle. ADC arvo vaihtelee lämpötilan muuttuessa. Mikrosiru osaa tulkita näitä arvoja tarkkoina lämpötila-arvoina sinne syötetyn koodin avulla.

Tässä vaiheessa laitetta pidettiin koko ajan päällä ja selainta päivittämällä pystyttiin lukemaan uudet lämpötila-arvot. Tästä pystyttiin myös toteamaan, että kaikki kytkennät olivat onnistuneet. Koodin muokkaamista jatkettiin vielä lisäämällä koodiin Dweet.io palvelu, jonne lämpötila-arvot saataisiin tallennettua. Tämä mahdollistaa lämpötila-arvojen näkymisen Freeboard.io sivulla, sillä kyseinen sivusto voidaan helposti asettaa vastaanottamaan Dweet.ion tallentamia lämpötila-arvoja. Lämpötila-arvojen lukeminen ja tulkitseminen helpottuvat huomattavasti Freeboard.ion hallintapaneelien (englanniksi dashboard) avulla (Dweet.io:sta ja Freeboard.io:sta tarkemmin luvuissa 3.2 ja 3.3).



Kuva 3. Ensimmäiset lämpötila-arvot internetissä.

3.1.2 Deep Sleep

Laitteen ollessa langaton edellytetään, että siinä on kannettava virtalähde esimerkiksi akku tai paristot. Tämä laite on paristokäyttöinen. Mikrosirun korkean virrankulutuksen johdosta täytyi koodin avulla aktivoida mikrosirun virransäästötila Deep Sleep, jotta laitetta pystyisi käyttämään kohtuullisen ajan ilman jatkuvaa paristojen vaihtamista. Mikrosiru ohjelmoitiin menemään Deep Sleep -tilaan heti lämpötila-arvojen lähettämisen jälkeen, jolloin valmistajan mukaan virrankulutus pienenee mahdollisesta maksimikulutuksesta 170 mAh jopa 0,02 mAh. Mikrosiru määrätään lopullisessa koodissa heräämään viiden sekunnin kuluttua, mittaamaan uuden lämpötila-arvon, lähettämään sen internetiin, jonka jälkeen menemään takaisin Deep Sleep-tilaan. Tämän jälkeen laite aloittaisi samat toiminnot viiden minuutin kuluttua uudelleen ja jatkaisi niin kauan, kuin patterit riittävät eli teoriassa noin vuoden.

Mikrosirun ollessa Deep Sleep -tilassa se on sammuttanut kaikki toimintonsa suurimman virransäästämisen saavuttamiseksi paitsi reaaliajassa toimivan kellon. Annetun ajan kuluttua mikrosiru osaa herätä GPIO16- ja RST-porttien avulla. Porttien väliin tehtiin ylimääräinen kytkentä hyppylangalla, jotta määrätyn viiden minuutin kuluttua mikrosiru pystyisi lähettämään itselleen herätys-signaalin GPIO16-portista RST-porttiin.

Tässä vaiheessa koodia muokattiin niin, että kaikki void loopissa olevat käskyt siirrettiin void setupiin ja seuraavat kaksi riviä lisättiin void setupin loppuun.

```
Serial.println("Going into deep sleep for 20 seconds");
```

```
ESP.deepSleep(20e6); // 20 seconds in microseconds
```

Tässä esimerkissä ESP-12F määrätään Deep Sleep-tilaan 20 sekunnin ajaksi. 20 sekunnin kuluttua mikrosiru herää ja aloittaa kaikki toiminnot uudelleen. Edellä mainitusti mikrosiru suorittaa void setupissa olevat toiminnot vain yhden kerran, mutta tässä tapauksessa Deep Sleep toimii eräänlaisena nollauksena, jolloin mikrosiru aloittaa void setupin lukemisen alusta, joten void loop ei tässä tapauksessa ole pakollinen.

3.2 Dweet.io

Dweet.io on Bug Labs Incorporationin kehittämä palvelu, joka tässä tapauksessa tallentaa langattoman lämpömittarin lähettämän datan Dweet-muodossa. Koodiin lisättiin toiminto, jonka avulla mikrosiru tallentaa lämpötila-arvot Dweet.io-palveluun yksikäsitteisellä tunnisteella. Tämän uniikin tunnisteen (englanniksi Thing ID) voi yhdistää esimerkiksi Freeboard.io-palvelun tarjoamiin hallintapaneeleihin, jolloin saadaan selkeästi tulkittava näkymä halutuista lämpötila-arvoista.

Bug Labs Incorporationin oma kuvaus palvelustaan ”Nopea, ilmainen ja naurettavan yksinkertainen - se on kuin Twitteri sosiaalisille laitteille” (Dweet.io, 2018).

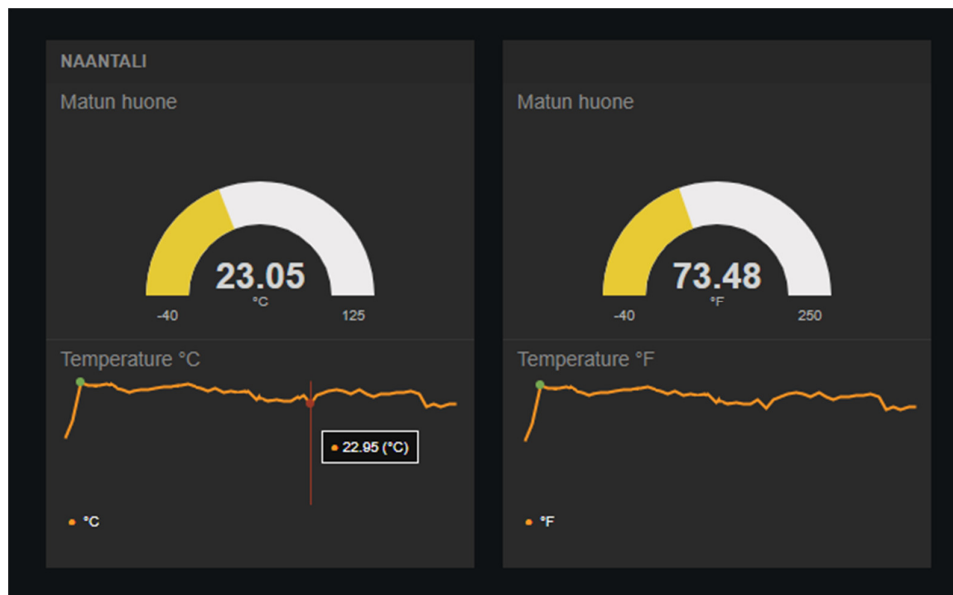
3.3 Freeboard.io

Freeboard.io on myös Bug Labs Incorporationin tarjoama palvelu, jonka tehtävä on tulkita esimerkiksi Dweet-ion lähettämiä Dweettejä ja muuttaa ne visuaaliseksi näkymäksi, josta kyseinen data on helposti luettavissa. Freeboard.io:n internetsivuilla pystytään luomaan yksinkertaisia hallintapaneeleja (englanniksi Dashboard), jotka mahdollistavat esimerkiksi lämpötila-arvojen seuraamisen reaaliajassa älypuhelimelta, tabletilta tai tietokoneelta. Näihin hallintapaneeleihin pääsee toimivan internetin kautta käsiksi mistä päin maailmaa tahansa.

Alkuperäinen ajatus oli, että Freeboardia käytettäisiin myös lopullisen langattoman lämpömittarin lämpötila-arvojen seurantaan, mutta aluksi ilmainen palvelu siirtyy maksulliseksi keväällä 2018, joten se soveltuu enää ainoastaan prototyyppiin.

Tämä ei sinällään ole työn kannalta ongelma, sillä vastaavia vaihtoehtoisia ratkaisuja löytyy lukuisia esimerkiksi toisen vastaavan palvelun valitseminen tai oman mobiiliohjelmiston (englanniksi mobile app) tekeminen.

Bug Labs Incorporationin oma kuvaus palvelustaan ”Naurettavan yksinkertaisia hallintapaneeleja sinun laitteillesi” (Freeboard.io, 2018).



Kuva 4. Yksinkertainen esimerkki kirjoittajan omasta Freeboard-näkymästä.

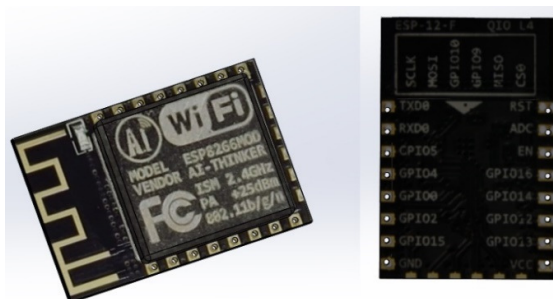
4 KOMPONENTTIEN VALINTA

4.1 Wi-Fi-mikrosiru

Tähän työhön valittiin mikrosiru, jonka pystyy helposti yhdistämään Wi-Fi-verkkoon. Langaton lämpömittari, joka lähettää etäältä lämpötila-arvoja käyttäjälle ei välttämättä vaadi Wi-Fi-ominaisuutta, sillä vaihtoehtoisina menetelminä löytyy myös esimerkiksi Bluetooth tai ZigBee. Bluetooth ja ZigBee ovat lyhyen kantaman radiotekniikkaan perustuvia järjestelmiä, joissa molemmissa on omat hyvät puolensa. Päädyttiin kuitenkin Wi-Fi-verkkoyhteydessä toimivaan ESP8266 mikrosiruun muun muassa siltä haluttujen toimintojen mahdollistavien riittävien ominaisuuksien, helpon saatavuuden, helppokäyttöisyyden sekä hinnan perusteella. Suurimmaksi valintaan kohdistuvaksi syyksi voidaan todeta, että Wi-Fi-verkkoyhteydessä toimiva mikrosiru pystyy lähettämään lämpötila-arvoja internetiin käyttäen pelkästään käyttäjän kiinteistössä sijaitsevaa WLAN-tukiasemaa, kun taas Bluetooth ja ZigBee vaatii erikseen valmistetut tukiasemat, joka lisäisi kustannuksia ja vaikeuttaisi projektia.

ESP8266-mikrosiruja valmistaa Guangdongissa toimiva kiinalainen yritys Ai-Thinker Technology Corporation sekä Shanghaissa toimiva myöskin kiinalainen yritys Espressif Systems Private Limited. Molemmilla yrityksillä on omat versiot ESP8266 mikrosiruista. Tässä työssä päädyttiin Ai-Thinkerin valmistamaan ESP-12F-mikrosiruun.

Wi-Fi-yhteydessä toimivat mikrosirut kuluttavat erittäin paljon virtaa, joten yksi merkittävimmistä ESP-12F-ominaisuuksista on sen virransäästötila Deep Sleep, mikä valmistajan mukaan laskee mikrosirun kulutuksen lähes olemattomaan 0,02 mAh. Valmistajan ilmoittama mikrosirun maksimi virrankulutus on jopa 170 mAh (Ai-Thinker Inc, 2017).



Kuva 5. 3D-mallinnettu ESP-12F-mikrosiru kuvattuna ylhäältä ja alhaalta.

4.2 Virtalähde

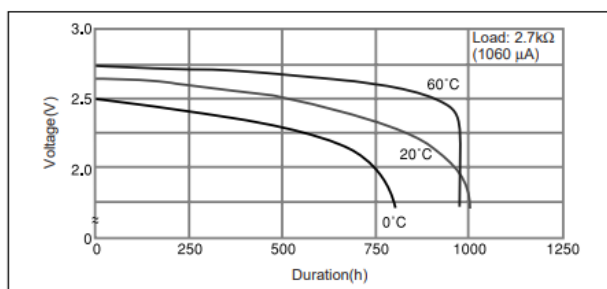
Virtalähteenä laitteessa käytetään kahta rinnan kytkettyä LS14500 3,6 voltin AA-paristoa. Kaksi rinnan kytkettyä paristoa antaa kaksinkertaisen määrän virtaa verrattuna yhteen paristoon, kuitenkin volttimäärän pysyessä yhtä suurena. Tämä luetaan myös eduksi, sillä 3,6 voltia on ideaali määrä jännitettä valitulle mikrosirulle.

Alkuperäinen suunnitelma oli tehdä laitteesta noin kahden euron kolikon kokoinen, mikä olisi teoriassa mahdollista, jos virtalähteenä toimisi yksi kolmen voltin nappiparisto. Kuitenkin ESP-12F-mikrosirun valmistajan ilmoittama virran maksimikulutus on jopa 170mA tunnissa ja tehokkaimmissa nappiparistoissa on maksimissaan vain 1000 mAh virtaa. Tämä tarkoittaa sitä, että nappiparisto tyhjenisi alle kuudessa tunnissa, jos mikrosiru olisi koko ajan päällä.

Päätettiin, että kohtuullinen paristojen vaihto aika olisi noin yksi vuosi. Ohjelmoinnissa laite määrättiin heräämään virransäästötilasta viiden minuutin välein ja lähettämään uusia lämpötila-arvoja internetiin, jonka jälkeen palaamaan takaisin virransäästötilaan. Aikaa laitteelta tähän kuluu noin sekunti. Laskutoimitusten perusteella 1000 mAh ei riitä vuodeksi edes virransäästötilan kanssa, jos laite käynnistyy viiden minuutin välein. Valituista kahdesta rinnan kytketystä 3,6 voltin AA-paristosta laite saa virtaa yhteensä 4800 mAh, mikä laskutoimitusten mukaan riittää pitämään laitteen päällä vuoden ajan halutuilla kriteereillä. Täytyy myös huomioida, että virran- ja jännitteen määrissä saattaa olla lieviä vaihteluita samojen paristojen välillä valmistajasta riippuen. Laskutoimitukset löytyvät liitteistä nimillä ESP-12F virrankulutus lasku 1000 mAh nappiparistolla ja ESP-12F virrankulutus lasku 4800 mAh 3,6V 2xAA-paristoilla.

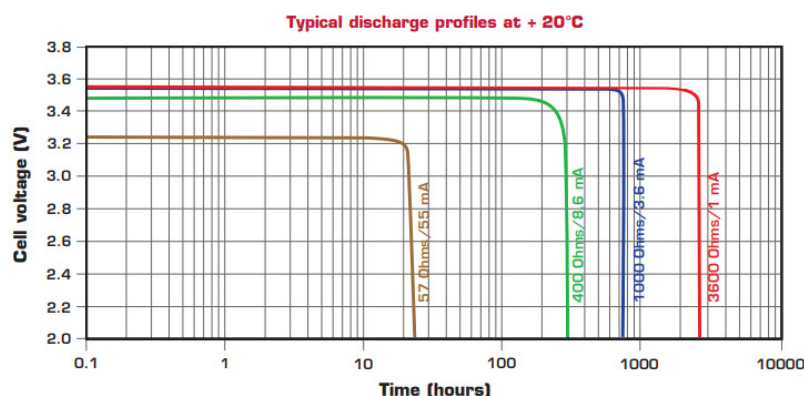
Lisäksi täytyy huomioida, että ESP-12F-mikrosiru toimii valmistajan antamien teknisten tietojen mukaan alimmillaan kolmen voltin jännitteellä. Jos jännite laskee alle kolmen voltin, mikrosiru sammuu eikä enää pysty käynnistymään automaattisesti (Ai-Thinker Inc, 2017). Selvitettiin kolmen voltin CR2477-nappipariston teknisistä tiedoista jännitteen laskeminen käytön aikana normaalissa 20 °C lämpötilassa.

Kuvion 1. perusteella jännite on jo valmiiksi alle kolme voltia ja jatkaa laskemista. Toisen valmistajan Power Glory Battery Tech (HK) co., ltd teknisten tietojen mukaan Omnergy-paristossa on ostohetkellä 3-3,4voltage jännitettä, joten tämän tiedon perusteella voidaan olettaa, että pariston jännite ei välttämättä laske täysin välittömästi alle kolmen voltin, kuten Panasonicin tarjoamassa taulukossa todetaan. Kuviosta 1. pystytään kuitenkin vielä tulkitsemaan, että jännitteen lasku tapahtuu liian radikaalisti käytön aikana, joten kyseinen nappiparisto ei näin myöskään sovellu tähän käyttötarkoitukseen (Panasonic, 2006, Power Glory Battery Tech (HK) co., ltd).



Kuvio 1. Panasonic CR2477-nappipariston jännitteen laskeminen käytön aikana (Panasonic, 2006).

Jännitteen laskeminen selvitettiin myös valituissa LS14500 3,6 voltin AA-paristoissa Cell Pack Solutionin tarjoamista teknisistä tiedoista. Kuvion 2. perusteella pystytään toteamaan, että jännite laskee alle kolmen voltin vasta paristojen tyhjentäessä täysin ja näin ollen paristot soveltuvat loistavasti tähän käyttötarkoitukseen (Cell Pack Solutions, 2009).



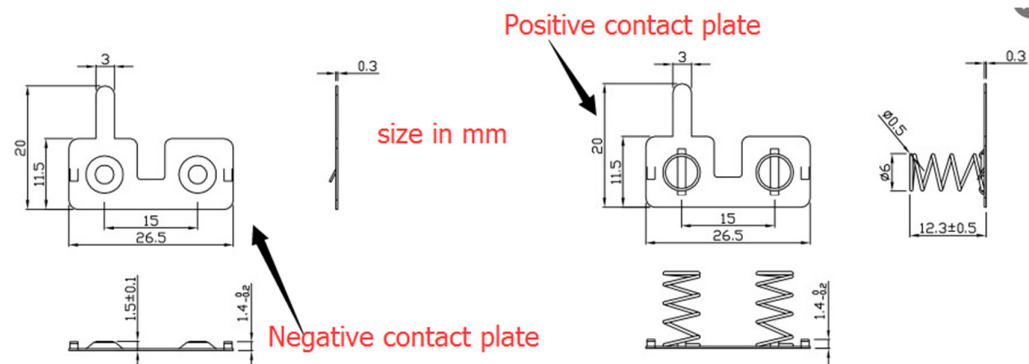
Kuvio 2. Saft LS14500 3,6V AA-pariston jännitteen laskeminen käytön aikana (Cell Pack Solutions, 2009).

4.3 Paristojen kontaktilevyt

Paristojen virran johtamiseksi piirilevyllä käytetään AA-paristoille tarkoitettuja kontaktilevyjä. Paristojen kontaktilevyille löytyy valmiina monta eri kokoa ja muotoa, mutta tässä työssä ne on haluttu pitää mahdollisimman yksinkertaisina.

Paristojen kontaktilevyjä myydään yleisesti pelkästään sarjaan kytketyille paristoille, joten kontaktilevyjen valmistajaan otettiin asiaan liittyen yhteyttä, sillä kuten edellä jo mainittu, paristot halutaan kytkeä rinnan. Vielä tässä vaiheessa nimensä mainitsematta jättänyt kiinalainen kontaktilevyjen valmistaja varmisti, että pystyy toimittamaan lähes halutunlaiset kontaktilevyt ja vielä edulliseen hintaan, mutta pyydetyn noin 15 mm pitkän kontaktilevystä lähtevän virranjohtimen pituudeksi jäi ainoastaan 8,5 mm eikä se tällä hetkellä ole riittävästi. Mahdollisilla piirilevyn mittojen tai muotojen muutoksilla tämä pituus olisi riittävästi, mutta silloin vastaavasti piirilevyn hinta nousisi.

Kiinalainen valmistaja tarjosi vaihtoehtoisesti muotin avaamista mittatilatuille kontaktilevyille, jolloin saataisiin tilattua täysin oikean kokoisia paristojen kontaktilevyjä. Muotin valmistaminen maksaa satoja euroja, joten ennen kuin piirilevyn tarkka hinta ja hinnan muutokset ovat selvillä ei voida vielä tässä vaiheessa päättää kumpaan valmistusmenetelmään tullaan päätymään.



Kuva 6. Piirustukset kiinalaisen valmistajan tarjoamista AA-paristojen kontaktilevyistä.

4.4 Lämpötila-anturi

Tämän työn lämpötila-anturi valittiin samoin perustein kuin työssä käytetty mikrosiru eli sen riittävien ominaisuuksien, helpon saatavuuden, helppokäyttöisyyden sekä hinnan perusteella. Prototyyppiin soveltuvaksi lämpötila-anturiksi valittiin TMP36-lämpötila-anturi.

4.5 Piirilevy

Langattoman lämpömittarin prototyyppissä ei vielä tässä vaiheessa käytetä piirilevyä, mutta jos tuote kaupallistetaan, niin piirilevy on ehdoton valinta kytkentöjen toteuttamiseksi. Helpoin ja yleisin tapa mahdollistaa tietyn laitteen toimivat kytkennät on tilata ulkoiselta valmistajalta juuri sille laitteelle valmistettu oma piirilevy. Piirilevystä ei olla vielä pyydetty tarjousta, sillä piirilevyn lopullinen koko ei ole vielä tiedossa. Piirilevyn koko määräytyy pitkälti myöskin langattoman lämpömittarin kotelon koon ja muodon mukaan, mikä lukitaan vasta lähitulevaisuudessa.

Tarkoituksena on, että piirilevyn valmistamisen lisäksi kyseinen valmistaja tilaa myös kaikki langattoman lämpömittarin komponentit ja asentaa ne piirilevyihin, jonka jälkeen toimittaa valmiit piirilevyt. Tämä nopeuttaa huomattavasti langattomien lämpömittarien valmistamista ja takaa paremman laadun tuotteille.

Piirilevyjen tilaamisessa täytyy ottaa monta asiaa huomioon: esimerkiksi piirilevyn koko, reikien määrä sekä muotoilu. Ylimääräiset reiät, pyöreät muodot tai leikkaukset lisäävät huomattavasti piirilevyn hintaa. Piirilevy ei saa olla liian pieni, jolloin komponentit olisivat liian lähekkäin, mikä vaikeuttaa komponenttien johtimien juottamista levyyn. Juottamisesta aiheutuva suuri lämpötila saattaa vahingoittaa liian lähekkäin olevia komponentteja. Piirilevy ei saa myöskään olla liian suuri, jotta materiaalikustannukset pysyisivät alhaalla. Tämän tuotteen piirilevy toteutetaan todennäköisesti niin, että valmistajalta tilataan juuri ja juuri kotelon sisälle mahtuvia suorakulmion muotoisia levyjä, joita valmistajan on ollut helppo leikata valmiiksi oikeaan kokoon isoista standardikokoisista levyistä. Tämä mahdollistaa halvimman hinnan ja tarkasti määritetyn kokonsa ansiosta piirilevy ei myöskään mahdu liikkumaan kotelon sisällä.

Piirilevyn kiinnitys koteloon tapahtuu yhdellä ruuvilla piirilevyn keskeltä. Vaihtoehtoisena kiinnitysmenetelmänä, jota käytetään esimerkiksi palovaroittimissa, on koteloon lisättävät kiinteät muovikiinnikkeet, jotka pitävät piirilevyä paikoillaan pienen puristusvoiman avulla. Tämä minimoisi piirilevyssä olevien reikien määrän, mutta toisaalta nostaisi jo valmiiksi kalleimman komponentin eli kotelon hintaa korkeammalle.

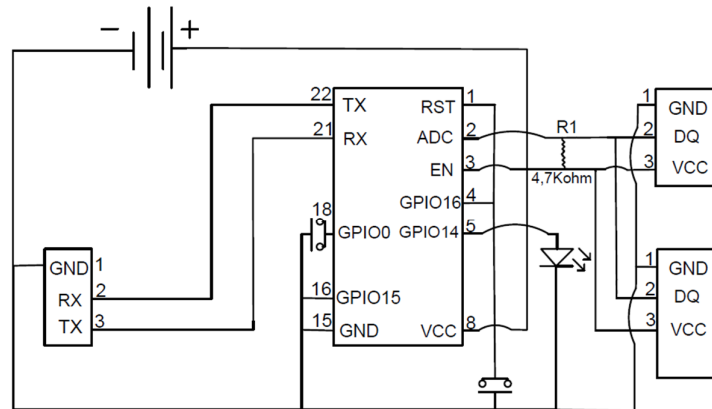
Piirilevyn vaatima täysi dokumentaatio sisältää laitteiston ulottuvuuspiirrustukset, piirikaavion, materiaalikustannukset (englanniksi bill of materials ja lyhyemmin BOM), sijoittelutiedoston, komponenttien sijoittelutiedoston, kokoonpanopiirrustukset ja ohjeet, sekä Gerber-tiedoston, joka sisältää kaikki piirilevyvalmistajan tarvitsemat tiedot (Smith, 2014). Tässä vaiheessa ainoastaan piirilevyn piirikaavio on piirretty, sillä todetaan, että muut piirilevyn valmistamiseen vaadittavat dokumentit tulee suunnitella ulkoisen asiantuntijan esimerkiksi paikallisen piirilevyjen valmistajan kanssa.

Seuraavaksi tarkastellaan Autocad-ohjelmalla piirrettyä piirilevyn piirikaaviota (kuva 8). Kuvassa näkyvässä piirikaaviossa ESP-12F-mikrosiru on piirretty kaavion keskelle ja loput piirilevyllä olevat komponentit sen ympärille. Vasemmalle ylös on merkitty paristokäyttöinen virtalähde ja sen alapuolelle 3-pinninen sarjaportti tiedonsiirtoa varten. Mikrosirun oikealle puolelle ylös on piirretty lämpötila-anturi Dallas 18B20 ja sen alapuolelle RJ11 6P4C naarasliitin mahdollista lisäanturia varten. Kuvasta löytyy lisäksi yksi 4,7Kohmin resistori, yksi ledivalo ja kaksi painettavaa kytkintä.

Valmiin tuotteen koodissa ledivalo on määrätty ilmoittamaan laitteen käyttäjälle esimerkiksi onnistuneesta internetiin kytkeytymisestä.

GPIO0-pinniin kytketty painettava kytkin on mikrosirun Flashaamista (Katso tarkemmin luku 3) varten ja samaan piiriin RST-pinnin kanssa kytketty kytkin on mikrosirun Reset-toimintoa varten. Reset-nappia tulee painaa esimerkiksi tilanteessa, jossa käyttäjä on syöttänyt WLAN-verkkonsa käyttäjätunnuksen ja/tai salasanan väärin, jolloin langaton lämpömittari yrittää kirjautua verkkoon väärillä tunnuksilla. Nappia painamalla käyttäjä pystyy syöttämään laitteeseen uudelleen käyttäjätunnuksen ja salasanan.

Kaikki käytössä olevat pinnit on nimetty ja numeroitu valmistajien tarjoamien tietojen mukaisesti.



Kuva 7. Autocad-ohjelmalla piirretty piirilevyn piirikaavio.

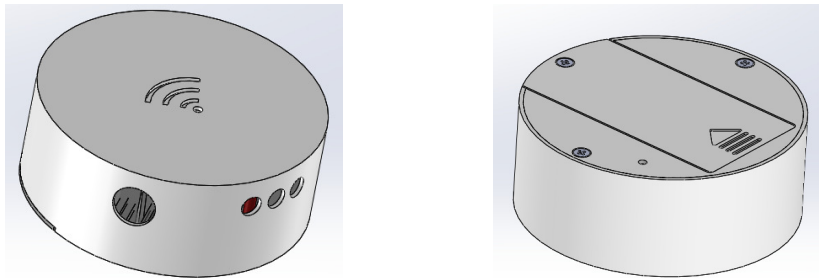
4.6 Kotelo

Langattoman lämpömittarin prototyyпин kotelo koostuu Solidworks 3D-mallinnusohjelmalla mallinnetusta pääkotelosta, patterikotelosta ja patterikotelon kannesta. Kotelon materiaaliksi on valittu yleisesti muovi, jonka valmistaminen haluttuun muotoon on mahdollista kolmella eri menetelmällä: CNC-jyrsiminen, ruiskupursotus tai 3D-tulostaminen. Valmistusmenetelmät kilpailutettiin hinnan mukaan ottamalla potentiaalsiin kotelonvalmistajiin yhteyttä, jolloin CNC-jyrsiminen pystyttiin lähes heti sulkemaan pois, sillä kyseinen valmistusmenetelmä oli ehdottomasti liian kallis.

Ruiskupursotus on yleisin käytössä oleva muovikomponenttien valmistusmenetelmä. Menetelmän takaaman tarkan laadun pystyy toteamaan lähes mistä tahansa kotoa löytyvästä muovikomponentista. Myöskin yksittäisen kotelon ostohinta pysyy tällä menetelmällä alhaisena. Ruiskupursotus kuitenkin vaatii erikseen valmistetun teräksisen muotin, johon sula muovi injektoidaan suurella paineella. Tämä muotti maksaa tuhansia euroja. Todetaan, että tässä vaiheessa ei vielä nähdä tarpeelliseksi sijoittaa niin suurta pääomaa kyseisen tuotteen valmistamiseen, joten lähdetään vielä tutkimaan muita ratkaisuja.

3D-tulostaminen on yleistynyt ja kehittynyt maailmalla nopeasti eikä enää ole lainkaan epätavallista, että jonkin tuotteen muovikomponentit ovat 3D-tulostetut. Kyseisen valmistusmenetelmän laatu pystyttiin myös konkreettisesti toteamaan hyväksi Turun kaupunginkirjaston 3D-tulostimella tulostetuista malli-koteloista. Kotelon kokonaispainoksi hukkamateriaaleineen tuli 25 grammaa, joten tavallisesta yhden kilon PLA-filamenttirullasta saisi tulostettua jopa 40 koteloä.

3D-tulostus materiaaliksi on valittu PLA-muovi sen riittävien ominaisuuksien johdosta. Filamenttirullan hinta vaihtelee ostomaasta ja laadusta riippuen välillä 7-40 euroa, joten yksittäisen kotelon ostohinta voi pysyä tälläkin menetelmällä alhaisena. Hintaa kuitenkin nostaa työstä aiheutuvat kustannukset, jos kotelot tilataan ulkoiselta valmistajalta.



Kuva 8. 3D-mallinnettu langattoman lämpömittarin kokoonpantu kotelo kuvattuna ylä- ja alapuolelta.

4.6.1 Kotelon runko

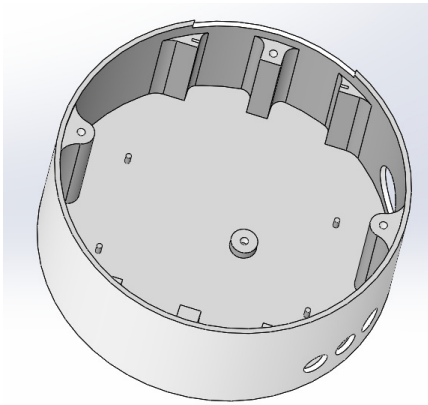
Kotelon rungon mallinnuksessa on pyritty säilyttämään mahdollisimman pieni halkaisija, jonka pituudeksi tuli 66 mm. Kotelon koko määräytyy lähes täysin paristojen koon mukaan, joiden pituus on 50,5 mm. Kotelon korkeudeksi määräytyi 25,5 mm.

Rungon 2 mm paksuihin seinämiin on lisätty jämähäköä sijoittamalla tasaisesti seinämän korkuisia tukirakenteita taipumisen ja joustamisen estämiseksi. Kolme tukirakennetta toimii myös M2-kokoisten ruuvien kiinnityspaikkoina, jotka ovat paristokotelon kiinnitystä varten.

Lisäksi rungon molemmin puolin vastakkain sijaitsevat kolme tukirakennetta toimii myös paristojen kontaktilevyjen kiinnityskohtina. Paristojen kontaktilevyt sijoitetaan reunimmaisten tukirakenteiden loviin, jotka pitävät levyä paikoillaan.

Keskimmäinen tukirakenne estää levyä taipumasta kontaktilevyjen jousien aiheuttaman jännityksen takia paristojen ollessa paikoillaan.

Piirilevy sijoitetaan rungon pohjassa sijaitsevien pienien tappien päälle. Tappien tarkoitus on pitää piirilevyn pohjassa sijaitsevia juotoksia irti kotelon pohjasta. Keskimmäinen suurempi tappi toimii piirilevyn kiinnityskohtana M2-ruuvilla. Rungon sivussa sijaitsee kolme ilmareikää, jotka mahdollistavat ilman kiertämisen kotelossa, jotta lämpötila-anturi saa kotelon sisältä mahdollisimman tarkat lämpötila-arvot. Kuvassa oikealla rungon kyljessä sijaitsee myös yksi isompi reikä, josta käyttäjä voi halutessaan kiinnittää laitteeseen kappaleessa 4.3 mainitun lisäanturin ilman tarvetta purkaa kotelo.

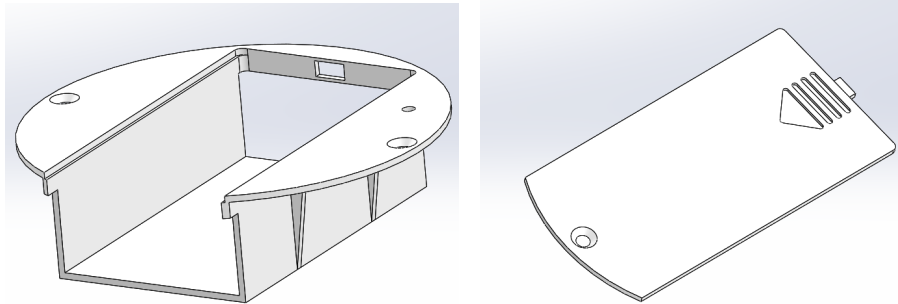


Kuva 9. 3D-mallinnettu langattoman lämpömittarin kotelon runko.

4.6.2 Paristokotelo ja paristokotelon kansi

Paristokotelo on muotoiltu niin, että se peittää alleen kaikki pääkotelon sisällä olevat komponentit ja toimii myös langattoman lämpömittarin takakuorena. Paristokotelon halkaisijaksi määräytyi 64 mm, jotta se mahtuisi sopivasti pääkotelon sisälle. Paristokotelo asettuu tarkasti pääkotelon tukirakenteiden päälle, jolloin sen pyöreä osa on samassa tasossa pääkotelon seinämien kanssa. Paristokotelon päätyseinämät on jätetty auki, sillä niissä on paristojen kontaktilevyjen paikat. Kotelon sivuilla näkyy myös kaksi M2-kiinnitysruuvin paikkaa sekä yksi pienempi reikä. Tästä pienestä reiästä käyttäjä pystyy painamaan Reset-nappia esimerkiksi kynän kärjellä.

Paristokotelossa on yksi suorakulmion muotoinen reikä, joka toimii paristokotelon kannen kiinnityskohtana. Kotelon seinämävahvuus on vain 1 mm, mikä osoittautui aluksi liian ohueksi, sillä ensimmäisen 3D-tulostetun paristokotelon seinämä halkesi heti tulostamisen jälkeen. Kuvassa näkyvät tukirakenteet lisättiin paristokotelon sivuille, mikä kasvatti seinämän kestävyyttä niin paljon, että ongelma poistui ilman seinämävahvuuden lisäämistä. Paristokotelon viimeinen yksityiskohta on sen päällä sijaitsevat pienet urat, joita pitkin paristokotelon kansi liukuu tarkasti paikalleen.



Kuva 10. 3D-mallinnettu langattoman lämpömittarin paristokotelo ja paristokotelon kansi.

Paristokotelon kansi toimii nimensä mukaisesti paristokotelon kantena. Kannen päällä on paikka M2 kokoiselle kiinnitysruuville ja sitä vastapäätä alapuolella sijaitsee pieni väkänen, joka sopii paristokotelon suorakulmion muotoiseen reikään. Näiden kiinnitysmenetelmien avulla kansi on helppo kiinnittää paristokoteloon. Lisäksi kannen päälle on tehty ohjeeksi nuoli, mikä kertoo kannen liukumasuunnan.

5 VALMIS TUOTE

5.1 Lisätoiminnot

Valmiissa tuotteessa on saatavilla erinäisiä lisätoimintoja, jotka mahdollistavat käyttäjälle täyden hyödyn laitteen käytöstä. Kyseiset lisätoiminnot ovat tiedonkeruu, hälytystoiminnot ja lisäänturit (katso tarkemmin luku 4.3).

5.1.1 Tiedonkeruu

Tiedonkeruu (englanniksi data logger) on tietokannan ja laitteen yhteydessä käytetyn sovelluksen ominaisuus, joka tallentaa ja näyttää lämpötila-anturin lähettämät lämpötila-arvot pitkälläkin aikavälillä. Myös prototyypissä käytetystä Dweet.io-sovelluksesta löytyy tiedonkeruun ominaisuus, mutta Dweet.io pystyy tallentamaan lämpötila-arvoja maksimissaan vain yhden kuukauden ajalta. Tiedonkeruun avulla laitteen käyttäjä pystyy seuraamaan haluamansa kohteen lämpötila-arvoja haluamallaan aikavälillä ja täten auttaa käyttäjää puuttumaan esimerkiksi toistuviin liian korkeisiin lämpötiloihin. Laitteen käyttäjä pystyy seuraamaan tarkasti haluamansa kohteen lämpötila-arvoja sijoittamalla kyseisiä langattomia lämpömittareita tasaisesti esimerkiksi rakennuksen jokaiseen huoneeseen, jolloin lämpömittarit keräävät reaaliajassa rakennuksen lämpötila-arvoja internetiin. Laiteessa käytetty sovellus piirtää saatujen lämpötila-arvojen perusteella helposti tulkittavaa lämpötilakäyrää. Tiedonkeruun ominaisuus auttaa käyttäjää visualisoimaan paremmin koko kohteen todellisen lämpötilan pitkällä aikavälillä, jolloin käyttäjä pystyy lämpötilaa säätämällä optimoimaan esimerkiksi asuntonsa lämmityskustannuksia.

5.1.2 Hälytystoiminnot

Käyttäjä pystyy halutessaan asettamaan lämpötila-arvoille ylä- ja alarajan, joiden ylittyttyä tai alituttua laite lähettää käyttäjälle hälytyksen (englanniksi alert). Hälytys tapahtuu muun muassa sähköpostiviestin välityksellä, jossa laite voisi esimerkiksi kertoa lämpötilan laskeneen makuuhuoneessa 15 °C:seen. Hälytystoimintojen viive riippuu siitä, kuinka tiheästi laite on ohjelmoitu mittaamaan lämpötila-arvoja.

Tällä hetkellä laite on ohjelmoitu mittaamaan lämpötila-arvoja viiden minuutin välein, joten hälytyksen viive on maksimissaan viisi minuuttia.

Laitteen hälytystoimintoa ei tule käyttää sellaiseen käyttötarkoitukseen, joka vaatii välitöntä reagointia esimerkiksi palovaroittimena. Hälytystoimintoa voi käyttää esimerkiksi lämminvesivaraajasta lähtevän lämpimän veden seurantaan kiinnittämällä lisäanturi lämminvesivaraajan kuumavesiputkeen. Mikäli lämmin vesi loppuu, putki jäähtyy ja käyttäjä saa tästä ilmoituksen.

5.2 Ongelmakohdat

Työn aikana pystyttiin luomaan erittäin hyvä käsitys siitä, mitä myyntikelpoisen langattoman Wi-Fi-lämpömittarin valmistamisen vähimmäisvaatimukset ovat, jolloin on myös kohdattu ongelmakohtia, jotka ovat prototyypin ja halutun valmiin tuotteen välissä. Suurimmaksi ongelmakohdaksi voidaan mainita langattoman lämpömittarin kalleimman komponentin eli kotelon valmistamisesta aiheutuvat kustannukset, joista ei vielä olla päästy sopimukseen kiinalaisten kotelonvalmistajien kanssa.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja valmistaa mahdollisimman kustannustehokas, langaton Wi-Fi-verkkoyhteyteen kytkeytyvä lämpömittari, jonka lähettämiä lämpötila-arvoja pystyy seuraamaan etäältä muun muassa verkkoyhteyteen kytketyltä tietokoneelta, älypuhelimelta tai tabletilla.

Työssä kuvattiin esineiden internetiä ja siihen liittyviä sulautettuja järjestelmiä, langattoman Wi-Fi-lämpömittarin prototyypin valmistamista, komponenttien valintoja, valmiin tuotteen lisätoimintoja sekä lopuksi yleisiä projektiin liittyviä ongelmakohtia ja niiden vaihtoehtoisia ratkaisuja.

Lopuksi voidaan todeta, että opinnäytetyön alussa määriteltyyn tarkoitukseen päästiin, sillä onnistuttiin suunnittelemaan ja valmistamaan erittäin kustannustehokas, langaton Wi-Fi-lämpömittari, jonka lähettämiä lämpötila-arvoja pystytään seuraamaan missä tahansa, jossa on toimiva internet-yhteys. Vaikka työstä ei selvitty täysin ongelmitta, niiden selvittämiseksi löydetty ratkaisut pitävät laitteen edelleen kustannustehokkaana ja toimivana.

LÄHTEET

Karvinen, T. & Karvinen, K. 2010. Sulautetut – opi rakentamaan robotteja ja muita sulautettuja järjestelmiä.

Ai-Thinker Inc, 2017, ESP-01/07/12 Series Modules User's Manual, Viitattu 26.3.2018
http://wiki.ai-thinker.com/media/esp8266/esp8266_series_modules_user_manual_v1.1.pdf

Analog devices, 2015, Data Sheet TMP35/TMP36/TMP37, Viitattu 26.3.2018
http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35_36_37.pdf

Maxim Integrated Products inc, 2015, DS18B20, Viitattu 26.3.2018
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Panasonic, 2006, Data Sheet CR2477, Viitattu 26.3.2018
<https://industrial.panasonic.com/cdbs/www-data/pdf2/AAA4000/AAA4000C341.pdf>

Power Glory Battery Tech (HK) co., ltd, Specification for lithium battery, Viitattu 26.3.2018
<http://www.farnell.com/datasheets/1496886.pdf>

Cell Pack Solutions, 2009, Primary lithium battery LS 14500, Viitattu 26.3.2018
<https://cellpacksolutions.co.uk/wp-content/uploads/2015/06/saft-ls14500-technical-data-sheet.pdf>

Ebay, 2018, Viitattu 27.3.2018
<https://www.ebay.com/itm/15-sheets-RJ-11-6P-4-C-6-Position-4-Contact-Female-connector-PCB-phone-jack-Gray/222871609140?epid=893712819&hash=item33e42edf34:g:F6cAAOSwqu1an~cH>

Amazon, 2018, Viitattu 27.3.2018
<https://www.amazon.com/uxcell-Female-Telephone-Splitter-Connector/dp/B0177AIQC4>

Ebay, 2018, Viitattu 27.3.2018
<https://www.ebay.com.au/itm/RJ11-6P4C-Male-Exterior-Telephone-Cable-Cord-ADSL-Modem-1m-2m-3m-10m-6W9-/322392180112>

Smith, 2014, Opas laadukkaaseen PCB-suunnitteluun, Viitattu 9.4.2018
<http://etn.fi/index.php/tekniset-artikkelit/1577-opas-laadukkaasen-pcb-suunnitteluun>

Tuominen, 2015, Teollinen internet tuo mahdollisuuksia, joita voit hyödyntää nyt heti, Viitattu 10.4.2018
<https://www.ecraft.com/fin/blog/2015/9/2/teollinen-internet-tuo-mahdollisuuksia>

Paperi ja puu, 2016, Älykäs lääkepakkaus parantaa lääkehoidon seurantaa, Viitattu 10.4.2018
<https://www.paperijapuu.fi/alykas-laakepakkaus-parantaa-laakehoidon-seurantaa-2/>

Stora Enso, 2017, Stora Enso hyödyntää älypakkauksissaan Microsoftin pilvipalvelualustaa, Viitattu 10.4.2018

<http://news.cision.com/fi/stora-enso-oyj/r/stora-enso-hyodyntaa-alypakkauksissaan-microsoftin-pilvipalvelualustaa.c2384566>

Military Embedded Systems -lehti, Osa 14, numero 2, 03/2018, Viitattu 10.4.2018

http://mil-embedded.com/issuu/?issuu_id=aHR0cHM6Ly9pc3N1dS5jb20vb3BlbnN5c3RlbXNtZWRpYS9kb2NzL21lc18yMDE4X21hcyE4X2ZpbmFsP2U9MTE4NzU5MjEvNTkwMjA0NzQK

LIITTEET

Liite 1. ESP-12F virrankulutus lasku 1000 mAh nappiparistolla.

Valitaan 3V 1000 mAh nappiparisto. Halutaan tietää riittääkö 1000 mAh paristo vuodeksi mikrosirulle ESP-12F. Mikrosirun virrankulutus max. on 170 mA tunnissa. Muita virtaa kuluttavia tekijöitä ei huomioida.

$$\frac{1000mAh}{170mA} = 5,8824h$$

Paristo riittää pitämään laitteen päällä 5,88 tuntia max. kulutuksella. Halutaan, että paristo kestää vuoden (365 päivää). Jotta paristo kestäisi vuoden, laite voi olla päällä maksimissaan

$$\frac{5,8824h}{365d} = 0,0161 \frac{h}{d}$$

$$0,0161h \cdot 60 = 0,9804 \frac{min}{d}$$

$$0,9804min \cdot 60 = 58,8235 \frac{s}{d}$$

$$\frac{58,8235s}{24h} = 2,451 \frac{s}{h}$$

noin 2,5 sekuntia tunnissa, jotta 1000 mA virtaa riittää vuodeksi. Halutaan, että laite herää virransäästötilasta viiden minuutin välein lähettämään uuden lämpötila-arvon internetiin, jonka jälkeen laite menee takaisin virransäästötilaan. Arduino IDE:n sarjamonitorista on katsottu, että laite on päällä 0,5–1,5 sekuntia kerrallaan. Lasketaan kuinka monta kertaa laite voi maksimissaan käynnistyä tunnin aikana, jotta paristo riittää vuodeksi

$$\frac{2,451 \frac{s}{h}}{0,5s} = 4,902 \frac{kertaa}{h}$$

$$\frac{2,451 \frac{s}{h}}{1s} = 2,451 \frac{kertaa}{h}$$

$$\frac{2,451 \frac{s}{h}}{1,5s} = 1,634 \frac{kertaa}{h}$$

Tulosten keskiarvo

$$\frac{4,902 + 2,451 + 1,634}{3} = 2,996 \frac{\text{kertaa}}{h}$$

Lasketaan kuinka monen minuutin välein laite voi käynnistyä, jotta paristot riittävät vuodeksi

$$\frac{60 \text{ min}}{2,996} = 20,03 \text{ minuutin välein}$$

Vastaus: Laite voi käynnistyä maksimissaan noin kolme kertaa tunnissa, jotta 1000 mAh paristo riittäisi vuodeksi. Paristo ei riitä vuodeksi, sillä laite on määrätty käynnistymään viiden minuutin välein.

Liite 2. ESP-12F virrankulutus lasku 4800 mAh 2xAA-paristoilla.

Valitaan kaksi 3,6 voltin 2400 mAh AA-paristoa. Halutaan tietää riittääkö 4800 mAh vuodeksi mikrosirulle ESP-12F. Mikrosirun virrankulutus kulutus max. on 170 mA tunnissa. Muita virtaa kuluttavia tekijöitä ei huomioida.

$$\frac{4800 \text{ mAh}}{170 \text{ mA}} = 28,2353 \text{ h}$$

Paristot riittävät pitämään laitteen päällä noin 28 tuntia max. kulutuksella. Halutaan, että paristot kestävät vuoden (365 päivää). Jotta paristot kestävät vuoden, laite voi olla päällä maksimissaan

$$\frac{28,2353 \text{ h}}{365 \text{ d}} = 0,0774 \frac{h}{d}$$

$$0,0774 \text{ h} \cdot 60 = 4,6414 \frac{\text{min}}{d}$$

$$4,6414 \text{ min} \cdot 60 = 278,4851 \frac{s}{d}$$

$$\frac{278,4851 \text{ s}}{24 \text{ h}} = 11,6035 \frac{s}{h}$$

noin 11 sekuntia tunnissa, jotta 4800mA virtaa riittää vuodeksi. Halutaan, että laite herää virransäästötilasta viiden minuutin välein lähettämään lämpötila-arvoja internetiin, jonka jälkeen laite menee takaisin virransäästötilaan. Arduino IDE:n sarjamonitorista on katsottu, että laite on päällä 0,5–1,5 sekuntia kerrallaan. Lasketaan kuinka monta kertaa laite voi maksimissaan käynnistyä tunnin aikana, jotta paristot riittävät vuodeksi

$$\frac{11,6035 \frac{s}{h}}{0,5s} = 23,2071 \frac{kertaa}{h}$$

$$\frac{11,6035 \frac{s}{h}}{1s} = 11,6035 \frac{kertaa}{h}$$

$$\frac{11,6035 \frac{s}{h}}{1,5s} = 7,7357 \frac{kertaa}{h}$$

Tulosten keskiarvo

$$\frac{23,2071 + 11,6035 + 7,7357}{3} = 14,1821 \frac{kertaa}{h}$$

Laite voisi siis käynnistyä maksimissaan noin 14 kertaa tunnissa, jotta 4800 mAh virtaa riittäisi vuodeksi. Lasketaan kuinka monen minuutin välein laite voi käynnistyä, jotta paristot riittävät vuodeksi

$$\frac{60min}{14,1821} = 4,23 \text{ minuutin välein}$$

Vastaus: Paristot riittävät vuodeksi, sillä laite on määrätty käynnistymään viiden minuutin välein.

Liite 3. Arduino IDE - Prototyypin Wi-Fi WebServer & Deep Sleep-koodi.

Pyritään selittämään koodin vieressä olevissa //-kohdissa, että mitä koodissa tapahtuu milläkin hetkellä. Osa koodista on Arduino IDE:n (Arduino, 2018) tarjoamaa valmista pohjaa.

```
#include <ESP8266WiFi.h>                                //Tässä kohtaa ESP:lle annetaan parametrit,
                                                         jonka mukaan sen tulee toimia muun muassa
                                                         SSID, salasana, Dweet.io.

#include <WiFiClient.h>

#include <ESP8266WebServer.h>

const char* ssid = "Opinnäytetyö";

const char* password = "Opinnäytetyö";

const char* host = "dweet.io";

const int sensorVoltage = 3300;

const int sensorBit = 1024;

float voltage = 0;

float temperatureC = 0;

float temperatureF = 0;

ESP8266WebServer webserver(80);

int reading;                                              //Tässä luodaan muun muassa tekstiä HTML-tyylillä
                                                         esimerkiksi "Wireless Seonsors" -otsikko

String getWEBpage() {

  String page = "<!DOCTYPE html><html lang=eng-ENG>";

  page += "<head>";

  page += "<meta http-equiv='refresh' content='10'/>";

  page += "<title>Wireless Sensors (1) - Version 1.0</title>";
```

```
page += "</head>";

page += "<body>";

page += "<h1>Cool Wireless Sensors</h1>";

page += "<br>";

page += "Celsius (C): ";

page += String(temperatureC);

page += "<br>";

page += "Fahrenheit (F): ";

page += String(temperatureF);

page += "</body></html>";

return page;

}

void setup(void){                                     //Tästä alkaa void setup, johon on määritetty
                                                       haluttuja parametreja

    pinMode(A0, INPUT);

    delay(1000);

    Serial.begin(115200);

    delay(10);

    WiFi.begin(ssid, password);

    Serial.println("");

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {

        delay(500);

        Serial.print(".");

    }

    Serial.println("");
```

```

webserver.on("/", [](){

webserver.send(200, "text/html", getWEBpage());

});

webserver.begin();

Serial.println("Web server started!");

reading = analogRead(A0);           //Tässä tapahtuu lämpötilan mittaus

voltage = reading/1.024;

temperatureC = (voltage - 500) / 10;

temperatureF = (temperatureC * 9.0/5.0) + 32.0;


String url = "/dweet/for/";           //Tässä luodaan Dweet-lause tietojen tallentamista
                                      varten

url += tstring1;

url += "?temperatureC=";

url += temperatureC;

url += "&temperatureF=";

url += temperatureF;

Serial.print("Requesting URL: ");

Serial.println(url);

client.print(String("GET ") + url + " HTTP/1.1\r\n" +

               "Host: " + host + "\r\n" +

               "Connection: close\r\n\r\n");

unsigned long timeout = millis();

while (client.available() == 0) {

```

```
if (millis() - timeout > 8000) {  
  
    Serial.println(">>> Client Timeout !");  
  
    client.stop();  
  
    return;  
  
}  
  
}  
  
while(client.available()){  
  
    String line = client.readStringUntil('\r');  
  
    Serial.print(line);  
  
}  
  
Serial.println();  
  
Serial.println("closing connection");  
  
Serial.println("Going into deep sleep for 20 seconds");  
  
    ESP.deepSleep(20e6); // 20seconds in microseconds  
  
}  
  
}  
  
void loop(void) {  
  
    //Tässä tapahtuu Deep Sleep  
  
    //Void loop on jätetty tyhjäksi  
  
}
```